УДК 539.621+674.05

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ РАБОЧЕГО ДВИЖЕНИЯ В МЕХАНИЗМАХ РЕЗАНИЯ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

А.А. Кондратюк*, В.К. Шилько**

*Томский политехнический университет. E-mail: publish@tpu.ru
**Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: lls@tgasa.tomsk.ru

Рассмотрены некоторые условия возникновения касательных напряжений в передаче гибкой связью «шкив-ленточная пила» механизмов резания ленточнопильных станков. Получены аналитические зависимости для анализа касательных напряжений в трущейся паре «шкив-ленточная пила» и формирующемся между ними «третьем теле».

Основу механизма резания ленточнопильного станка составляют два шкива с натянутой на них ленточной пилой, представляющей собой тонкую бесконечную металлическую ленту с насеченными на одной стороне режущими зубьями. Движение ленте передается от приводного шкива благодаря усилию предварительного натяжения как во многих передачах трением первого вида. Поведение механизмов резания ленточнопильных станков на холостом ходу (без пиления) укладывается в рамки классической теории передач гибкой связью. Однако в момент врезания в древесину и при дальнейшей распиловке в работу вступает гибкий рабочий орган, которым в данном случае является ленточная пила. Появляется поперечная сдвигающая нагрузка от действующих сил резания и ярко выраженная тонкая прослойка между шкивом и гибким рабочим органом (ленточной пилой) в виде спрессовавшейся и налипающей на шкивы пылеопилочной смеси. Данная прослойка выполняет роль «третьего тела», имеющего важное значение при передаче рабочего движения. Чтобы понять влияние «третьего тела» на работу передачи «шкив-ленточная пила», рассмотрим некоторые процессы и явления, возникающие в механизме резания ленточнопильного станка.

Из теории передач гибкой связью следует [1], что между гибким рабочим органом и шкивом имеет место упруго-вязкий характер контакта трения. В пользу упруго-вязкого характера контакта трения свидетельствует тот факт [1, 2], что наряду с малым предварительным смещением в этих зонах контакта, (на дуге относительного покоя), имеет место значительное проскальзывание в других зонах контакта, (на дуге относительного скольжения). Это обстоятельство приводит к перераспределению касательных напряжений на контакте, то есть участки контакта, где нормальные давления меньше, в момент приложения внешней сдвигающей силы, частично проскальзывают. Сдвигающие усилия на контакте перераспределяются, уменьшаясь на проскальзывающих участках и возрастая на неподвижных участках, где нормальные давления больше [2].

Из теории передач гибкой связью и депланационной теории упругости известно [1, 3], что касательные напряже- зависят от максимального относительного сдвига Γ_{max} трущихся пар, в данном случае шкива и ленточной пилы, и составя

$$\phi_{max} = \Gamma_{max}\,\Gamma = \frac{\kappa \cdot \Omega \cdot \Gamma}{\chi \cdot \sigma}, \qquad (1)$$

где Γ_{max} – максимальный относительный сдвиг ленточной пилы и шкива при передаче рабочего движения, $W = T_p - T_x$ – тяговое усилие, развиваемое в передаче «шкив-ленточная пила», T_p – усилие натяжения в рабочей ветви, T_x – усилие натяжения в холостой ветви, G – обобщенный модуль сдвига «третьего тела», k – коэффициент, учитывающий, какая часть тяговой силы передается в пределах дуги скольжения, c – коэффициент контактной жесткости трущихся пар, s – толщина ленточной пилы.

Однако выражение (1) не позволяет учесть отдельно касательные напряжения, сформировавшиеся к моменту проскальзывания, то есть от усилия предварительного натяжения ленточной пилы T_o и касательные напряжения, возникающие при передаче тягового усилия W.

Кроме того, максимальный относительный сдвиг Γ_{max} трущихся пар зависит от многих факторов, учесть которые можно только приближенно.

Вопросы предварительного смещения и влияния способа приложения сдвигающих сил на характер деформаций и напряжений, возникающих в упругих телах, которые передают и воспринимают сдвигающие усилия через контакт трения, разработаны недостаточно [1]. В работе [2] сформулированы основные особенности сухого трения и введено понятие о «третьем теле», формирующемся между трущимися телами и характеризующемся упруго-вязкими свойствами. Разрушение контакта идет не одновременно по всей поверхности, а обусловлено бегущей волной деформации, рвущей последовательно «мостики сварки» между трущимися телами, то есть такой процесс носит закономерный характер. Такое явление можно представить как движение «зоны проскальзывания» вдоль поверхности трения, что напоминает движение «трансляционных дефектов» в деформируемом твердом теле. Введение понятия «зоны проскальзывания» между «мостиками сварки» аналогично понятию «трансляционных дефектов» в зоне контакта [3], а движение таких дефектов вдоль зоны контакта приводит к образованию и разрушению «мостиков сварки».

Все это, с некоторыми оговорками, позволяет перенести уравнения, описывающие динамику поведения дефектов в деформируемом твердом теле, на описание вязкого поведения третьего материала, формирующегося в зоне контакта трущихся тел.

Рассмотрим характер изменения касательных напряжений в зависимости от скорости и времени деформаций при простой схеме нагружения, рис. 1. Так, возрастание силы трения в зависимости от времени контакта задается выражением [2]

$$\Phi = \Phi_0 \left[\; - (\; - 1) \cdot {}^{-в \cdot t} \right],$$

где β – константа, характеризующаяся безразмерным коэффициентом упрочнения молекулярной связи,

$$б = \frac{®_{\infty}}{®_{0}},$$

®_занная с временем релаксации, $®_0$ а $®_0$ и $_{\infty}$ – сила трения при нулевом и бесконечно большом времени.

Используем уравнение для необратимо Σ составляющей скорости пластических деформаций $_{12}$, которое имеет место для деформируемого твердого тела [4]

$$\Re\frac{\partial \Sigma_{12}}{\partial \tau} + з \cdot \Sigma_{12} - ф_{12} = 0, \quad (2)$$

где Σ_{12} – скорость пластических деформаций в «третьем теле», которая характеризует необратимые смещения трущихся тел относительно друг друга, η –коэффициент вязкости, τ_{12} – внешние касательные напряжения, равномерно распределенные вдоль поверхности, В – константа, характеризующая граничные свойства трущихся тел. В данном случае она характеризует плотность «третьего тела».

Как следует из работ [1, 4], константы в уравнении (2) зависят в первую очередь от состояния поверхности, давления и температуры.

Решение однородного уравнения, соответствующего уравнению (2), имеет вид

$$\Sigma_{12} = \nabla_1 \cdot \Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau},$$

где величина $\frac{з}{\Re} = в$ характеризует время релаксации.

Подставим значение скорости (3) в уравнение (2) и из выражения

$$\Re\left\{\nabla_1 \cdot \Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau} - \frac{з}{\Re}\cdot\nabla_2\cdot\Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau}\right\} +$$

$$+ з \cdot \Sigma_2 \cdot {}^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau} - ф_{12} = 0 \quad (3)$$

находим постоянные компоненты $\nabla_1 = \frac{ф_{12}}{\Re}\cdot\Sigma^{\frac{з}{\Re}\cdot\tau}$ и $\nabla_2 = \frac{ф_{12}}{з}\cdot\Sigma^{\frac{з}{\Re}\cdot\tau} + X_0$.

Отсюда окончательно имеем

$$\Sigma_{12} = \frac{ф_{12}}{з} + \nabla_0 \cdot \Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau}.$$

«Вязкие» касательные напряжения, возникающие в зоне контакта, имеют вид

$$ф = ф_{12} + з \cdot \nabla_0 \cdot \Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau}.$$

Для определения постоянной компоненты С мем в выражении (4) начальные условия в виде $ф_0 = ф$ при t = 0.

Отсюда получим, что в начальный момент имеют место некоторые напряжения трения

$$ф_0 = ф_{12} + з \cdot \nabla_0 = 0, \text{ откуда } \nabla_0 = \frac{ф_0 - ф_{12}}{з}.$$

Общие касательные напряжения в зоне трения тел составят (4)

$$ф = ф_{12} + (ф_0 - ф_{12}) \cdot \Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau},$$

или

$$ф = ф_0\left[\frac{ф_{12}}{ф_0} - \left(\frac{ф_{12}}{ф_0} - 1\right)\cdot\Sigma^{-\frac{з}{\Re}\cdot\tau}\right].$$

Принимая $б = \frac{®_{\infty}}{®_0} \approx \frac{ф_{12}}{ф_0}$, окончательно имеем:

$$ф = ф_0\left[б - (б - 1)\cdot\Sigma^{-в\cdot\tau}\right], \quad (5)$$

где $ф_0$ – можно трактовать как чисто упругие (жест-кие) касательные напряжения, сформировавшиеся к моменту проскальзывания при t = 0.

Данные условия характера передачи рабочего движения в механизме резания ленточнопильного станка рассмотрены в предположении, что другие компоненты тензора скорости пластических деформаций не оказывают влия... на сдвиговую компоненту скорости деформации Σ_{12} в простой схеме нагружения, рис. 1.

Характер изменения касательных напряжений между трущимися телами в передаче «шкив-ленточная пила», вытекающий из выражения (5), представлен на рис. 2. Из него видно, что, в зависимости от функции времени с момента начала движения, изменение упругих касательных напряжений на элементарном участке до проскальзывания идет со значительным возрастанием, а после проскальзывания с резким убыванием. Это напоминает график изменения сил трения в пределах дуги обхвата для передач гибкой связью и характер изменения сил трения покоя в момент предварительного смещения трущихся тел. Однако, в отличии от трущихся пар, находившихся в состоянии покоя, наши трущиеся тела изначально испытывают действие постоянных начальных касательных напряжений, которые в процессе работы (от передачи тягового усилия) могут уменьшаться относительно номинальных значений. Это значит, что по касательным напряжениям наш гибкий рабочий орган, в данном случае ленточная пила, будет

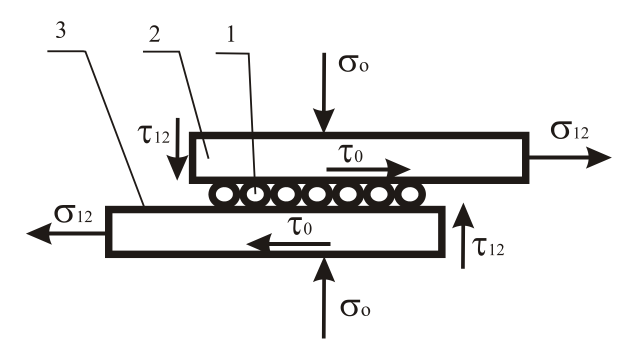
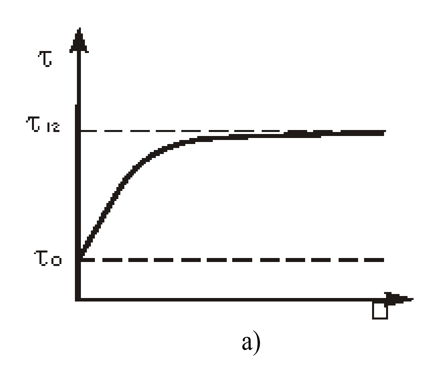


Рис. 1. Схема нагружения при передаче движения в трущейся паре «шкив-ленточная пила», 1) пылеопилочная прослойка, («третье тело»), 2) ленточная пила, 3) ведущий шкив ленточнопильного станка, $у_0$; $ф_0$ – нормальные и касательные напряжения в трущейся паре, формирующиеся от усилия предварительного натяжения T_0; $у_{12}$; $ф_{12}$ – нормальные и касательные напряжения в трущейся паре, формирующиеся от приложения тягового усилия W



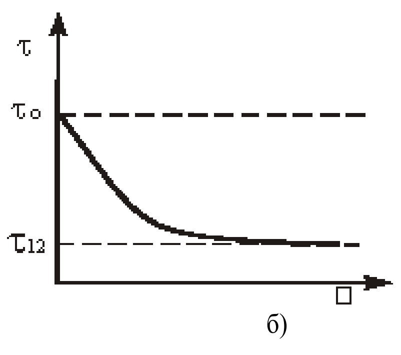


Рис. 2. Характер изменения упругих касательных напряжений, сформировавшихся к моменту проскальзывания: а) до проскальзывания, б) после проскальзывания

испытывать знакопеременные нагрузки, а не нагружение по «отнулевому» циклу, как считалось ранее. Характер изменения упругих касательных напряжений остается неизменным для различных уровней напряжений.

Выводы

1. В начальный момент движения трущихся пар передачи «шкив-ленточная пила», имеют место некоторые касательные напряжения трения от усилия предварительного натяжения, которые носят упруго-вязкий характер. Затем сдвигающие усилия на контакте перераспределяются, возрастая на неподвижных участках и уменьшаясь на проскальзывающих участках, где нормальные давления меньше.

2. В момент проскальзывания с некоторой нулевой отметки времени к начальным касательным напряжениям трения добавляются дополнительные касательные напряжения, формирующие «зону проскальзывания» и играющие основную роль при передаче главного рабочего движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.В. Передача трением. – М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
4. Гриняев Ю.В., Чертова Н.В. Полевая теория дефектов. Часть 1 // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т. 3. – № 5. – С. 19–32.